

下水汚泥の嫌気性酸生成に関する基礎検討

高 島 正 信*

A fundamental study on acidification of sewage sludge

Masanobu Takashima

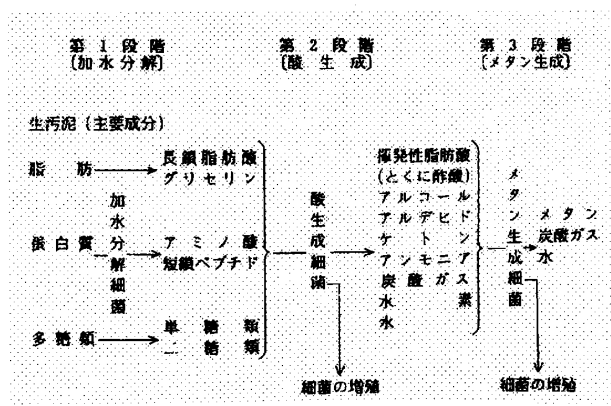
ABSTRACT

Anaerobic microbial degradation of organics proceeds through acidification, and then reaches to methane formation. In this research, the acidification characteristics of sewage sludge were studied with emphasis on solubilization of heavy metals. The experimental conditions employed are the temperature of 35 or 55 °C, hydraulic retention time (HRT) of 1.5 or 3.0 days, and pressure of 0.1 or 0.6 MPa. The highest sludge destruction was obtained at 55 °C, 3.0 days HRT and 0.1 MPa. At the normal operating pressure of 0.1 MPa, methane formation was not eliminated, leading to the pH of above 6. At the operating pressure of 0.6 MPa, on the other hand, the pH was decreased to below 6, due to the higher partial pressure of carbon dioxide. The zinc concentration in the supernatant was proportional to the SS concentration therein. The higher SS and lower pH for the pressurized conditions appear to promote the solubilization of zinc most.

1. はじめに

わが国の下水道普及率は平成 13 年度末に 63.5%に到達した¹⁾。それに比例して汚泥の発生量は著しく増加しており、汚泥処理処分の問題が処分地に制約の大きい大都市だけでなく、中小都市においても深刻になっている。有効利用される汚泥量が増えていくことが望まれるが、汚泥中に存在する有害重金属の存在がその障害となりがちである。

ところで、汚泥処理の一手段である嫌気性消化を微生物学的に見れば、加水分解・酸生成細菌による有機物からの有機酸生成と、メタン生成細菌による有機酸からのメタン生成という 2 段階に大別される(図 1 参照)。酸生成段階では、有機酸の生成に伴い pH が低下するため、反応を有機酸生成段階で止めておくと重金属が溶出してくることが考えられる。

図 1 嫌気性代謝経路²⁾

* 建設工学科 地球環境工学専攻

本研究では、この微生物学的反応に注目し、図2に示すような嫌気性酸生成に固液分離を組み合わせて有機酸や重金属を回収するシステムを考案してみた。本年度は、比較的低い濃度（約2%）の下水汚泥を用い、重金属として肥料取締法などの対象となっている亜鉛を取り上げ、基礎的な検討を行った。また、高温・中温の運転温度、pHを下げやすい加圧条件についても検討項目に加えてみた。

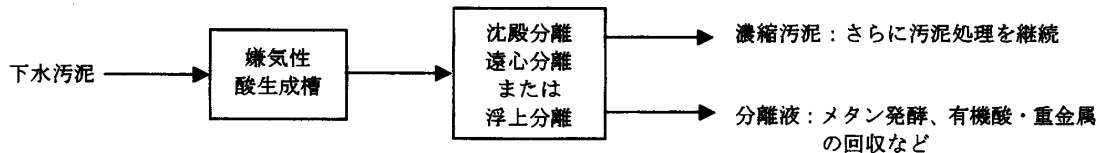


図2 想定する嫌気性有機酸・重金属回収システム

2. 実験および分析方法

実験装置を図3に示す。用いたリアクターは、常圧用がガラス製 3.0L（柴田科学製）、加圧用がステンレス製 2.5L（ユニコントロース社製）で、1日1回槽内液を引き抜き基質を投入する準連続式で運転した。引き抜かれた処理汚泥は1L メスシリンダー内でおおよそ1日静置し、常圧では沈殿分離、加圧では浮上分離によって分解液と濃縮汚泥に分離した。

温度の制御は、サーモスタットとテープヒーターの組み合わせで、また、加圧リアクターの圧力の制御は毎日、マニュアルでのバルブ開閉によって行った。リアクター内の攪拌は、常圧がガス循環によって、加圧が攪拌機によって実施した。加圧用リアクターへの下水汚泥の投入は、内径15mmの耐圧ホースに下水汚泥を満たし、これを窒素ガスポンベに接続して窒素ガスで圧送する方法を採った。

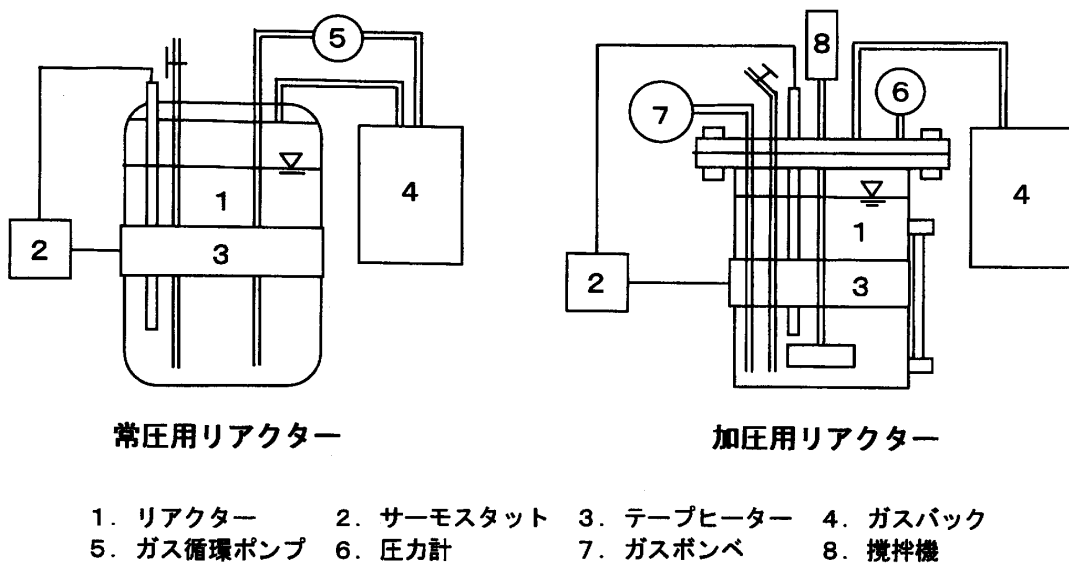


図3 実験装置

下水汚泥は、市内日野川浄化センターから採取した初沈汚泥と終沈汚泥をおよそ 2 : 1 の実際に近い割合で混合したものである。均一な性状の汚泥を用いるため一旦冷凍保存し、使用時には解凍後、ミキサーで微細化した。また、嫌気性細菌に対する温度ショックを避けるため、マントルヒーターで下水汚泥を高温の場合約 65℃、中温の場合 40～45℃に温めてリアクターに投入した。投入量は 0.5L/日に固定したので、リアクターの有効容量は運転条件によって変化した。圧力条件については常圧が 0.1MPa、加圧が 0.6MPa に設定した。運転条件を表 1 にまとめる。

表 1 運転条件のまとめ

	温度 (℃)	水理学的滞留時間 HRT(日)	圧力 (MPa)
高温	55	3.0、1.5	0.1、0.6
中温	35	3.0	0.1、0.6

分析は原則として週 1 回実施し、その方法は主に Standard Methods³⁾に従った。ろ液は、1N HNO₃ で洗浄した 0.45 μm メンブレンフィルターでろ過して作成した。重金属分析のための容器は、洗剤で洗い水道水でゆすいだ後 HNO₃ (1:1) に浸し、水道水、次に蒸留水でよくゆすいで準備した。亜鉛の分析には原子吸光分析装置 (Shimadzu AA-680)、ガス成分の分析にはガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-9A) を用いた。

3. 実験結果および考察

実験は HRT の 10 倍以上の期間継続し、安定していた最後 3 回の分析結果を平均して図 4 に示す。SS (浮遊物質) でみた汚泥可溶化率とメタン発生量は、高温の HRT3 日が最も高い値を示し、温度が低下することによって、または HRT が短縮されることによって低下した。汚泥可溶化率とメタン発生量から見れば、高温 HRT1.5 日と中温 HRT3 日は同等の処理レベルであったといえる。可溶化された汚泥固形分が有機酸を主とした溶解性有機物に転換され、これがさらにメタン生成細菌によりメタンに転換されるわけであるが、分離液の COD 濃度は汚泥可溶化率に比例せず、3 条件ともほぼ同様の値を示した。これは、汚泥可溶化率に比例するような形でメタン生成も進行し、生成した有機酸が消費されてしまった結果であると思われる。一般に、高温条件は中温条件より 2 倍以上微生物活性が高いと言われているので、高温 HRT3 日で酸生成とメタン生成の両方の活性が秀でていたことはうなずけるものである。また、いずれの実験条件下でも増殖速度の遅いメタン生成細菌が存在可能なことが示唆された。

pH は 6 前後とわずかの低下にとどまっており、メタン生成が活発になるほど有機酸が消費され、pH が高くなる傾向にあった。また、加圧条件では、炭酸ガスが液相に溶解込むため常圧に比べ酸性側の pH を示していた。ただし、高温 1.5 日でそれが逆転しているのは、下水汚泥の圧送に用いた窒素ガスが混入してしまった結果であると思われる。

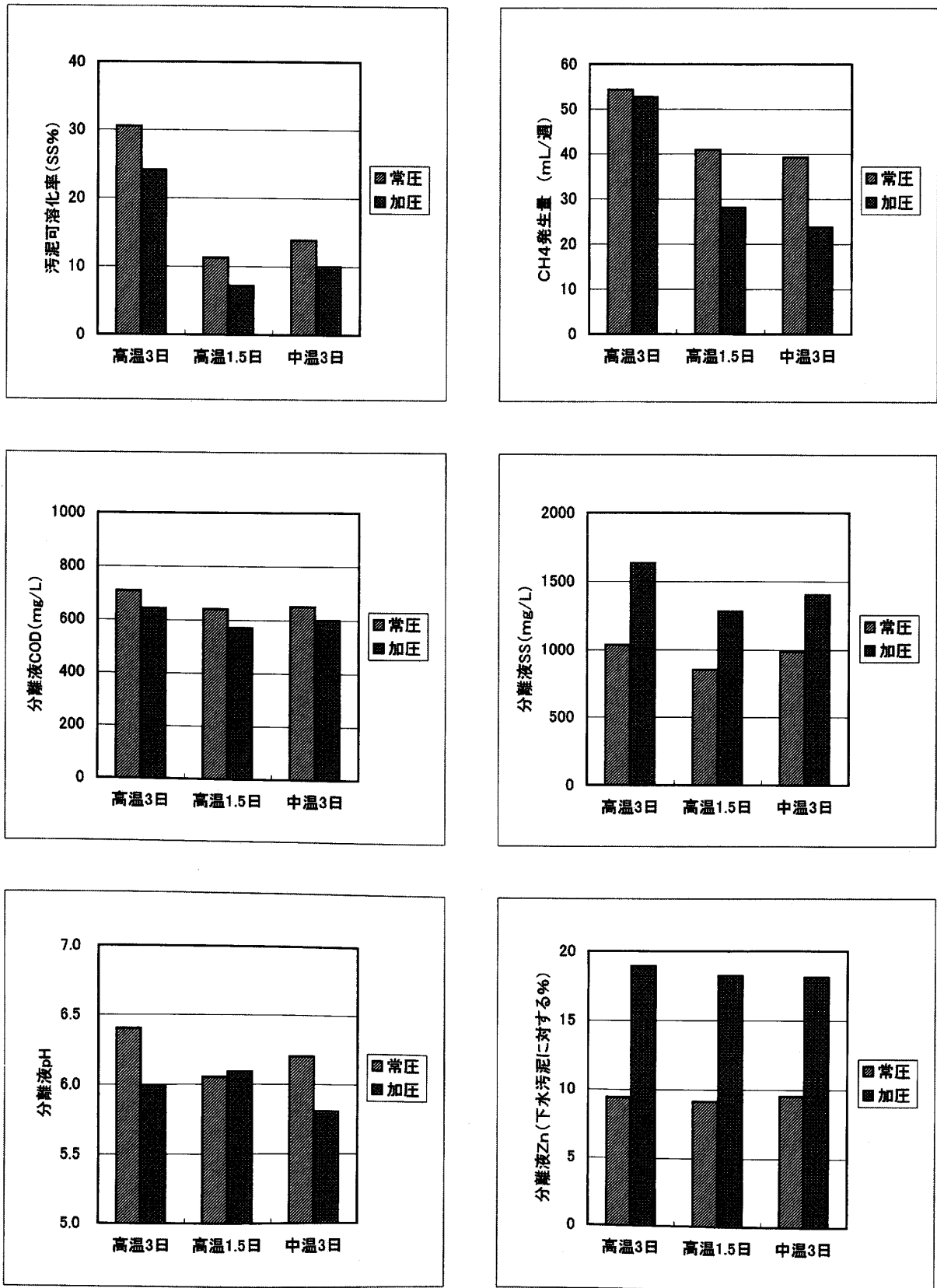


図4 実験結果のまとめ

分離液中の SS 濃度は、加圧の方が常圧に比べ総じて高いようである。したがって、酸生成後の固液分離は、加圧の浮上分離よりも常圧の沈殿分離の方がこの実験では優れていたことになる。分離液中の亜鉛濃度は分離液中の SS 濃度とかなり関係があり、SS 濃度が高いほど亜鉛濃度が高かった。浮遊物質に含有または吸着されている亜鉛が測定されたのと、pH が若干低く、有機酸や炭酸が高まったことが、結果として加圧条件における亜鉛溶出量の多さにつながっていると思われる。加圧条件を採用したのは、高分圧の CO₂ がメタン生成細菌を阻害するので、有機酸が残存しやすく、しかも液相に多量に溶け込む炭酸が重金属と錯体形成することを期待したためであったが、その効果が若干現れたと思われる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、高温(55℃)の HRT3.0 日と 1.5 日および中温(35℃)の HRT3.0 日において、それぞれ 0.1MPa と 0.6MPa の圧力条件の下、下水汚泥の嫌気性酸生成について基礎検討した。

- (1) 中温より高温、HRT1.5 日より 3 日、加圧より常圧の方が、酸生成とメタン生成の両面において活性が高くなった。いずれの条件においてもメタン生成を除外できず有機酸が消費されてしまった結果、酸生成の pH が 6.0 を大幅に下回らなかった。
- (2) 下水汚泥からの亜鉛の溶出量については、分離液中の SS 濃度とかなり比例していた。これに加え、加圧条件では、pH が常圧条件よりも低くまで下がったので亜鉛溶出量が最も高くなったと思われる。

今後の研究として、有機酸の生成量が多くなり、pH がより低下すると予想される高濃度の下水汚泥について検討したいと思う。

謝辞

環境・生命未来工学科の梅田先生と大学院生小島君（当時）には、重金属分析について便宜を図っていただきました。ここに記して厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 塩路勝久：中小市町村下水道の整備促進策、下水道協会誌、Vol. 39、No481、p. 4-12、2002.
- 2) 須藤隆一：水処理のためのバイオテクノロジー基礎講座、第 29 回嫌気性微生物 I（酸生成細菌）、用水と廃水、Vol. 31、p. 456-457、1989.
- 3) APHA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. 1998.

(平成 15 年 12 月 3 日受理)